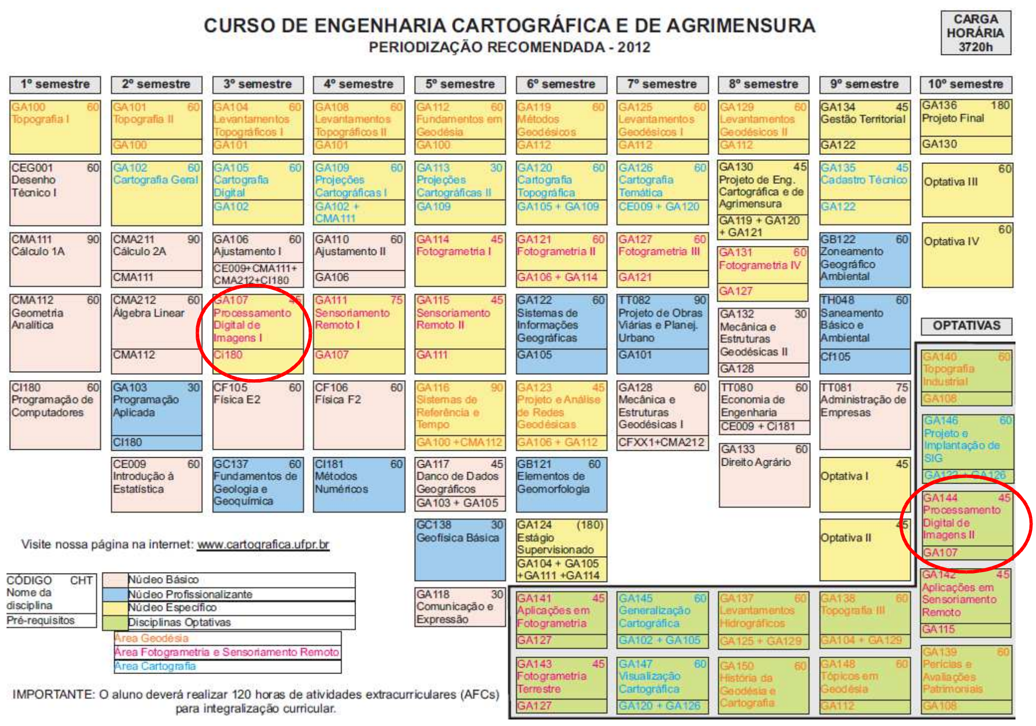
# GA144 – Processamento Digital de Imagens II

Segundo semestre de 2017



- A análise de imagens pode ser

| - Visual | - Digital |
|---|---|
| Características: | Características: |
| -Capacidade de captar, processar e interpretar grandes volumes de dados de natureza visual<br>-Capacidade de aprendizado | - Desenvolvimento de algoritmos computacionais<br>• entrada: imagens<br>• saída: resultado da interpretação |

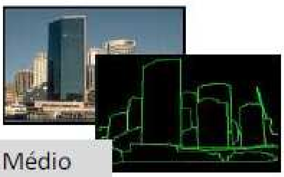
## Níveis de Processamento digital de imagens

-Os métodos de **baixo nível** geralmente usam pouco conhecimento sobre o conteúdo ou a semântica das imagens. Envolvem operações como a redução de ruído, o aumento do contraste, a extração de bordas e a compressão de imagens.

-Os métodos de **alto nível** envolvem tarefas como a segmentação das imagens em regiões ou objetos de interesse, descrição desses objetos de modo a reduzi-los a uma forma mais apropriada para representar o conteúdo da imagem e reconhecimento ou classificação desses objetos.

Baixo

Entrada: imagem;
Saída: imagem

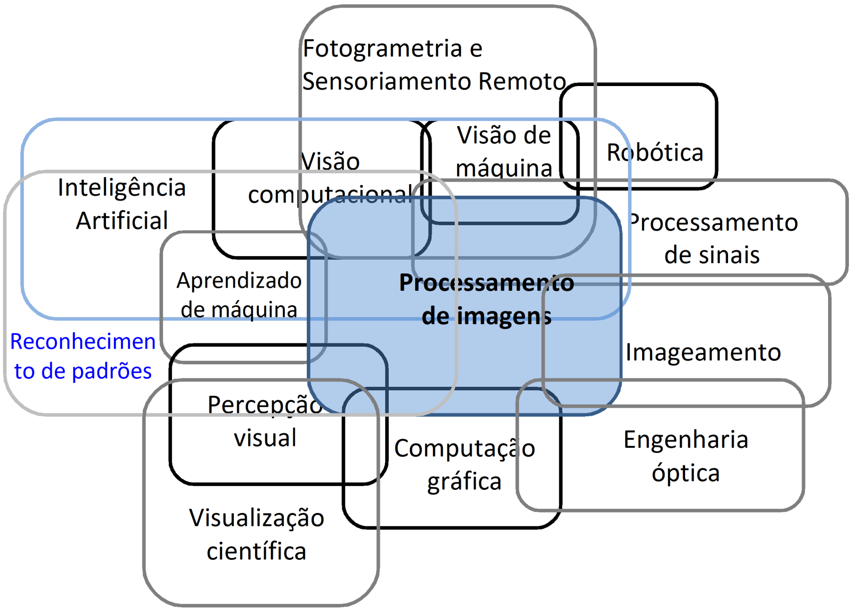


Médio

Entrada: imagem;
Saída: atributos extraídos das imagens (bordas, contornos, identificação de objetos)

Alto

"Pessoas andando com guarda chuva"




## Etapas de um sistema de processamento de imagens

Domínio do problema

Aquisição

Pré-Processamento

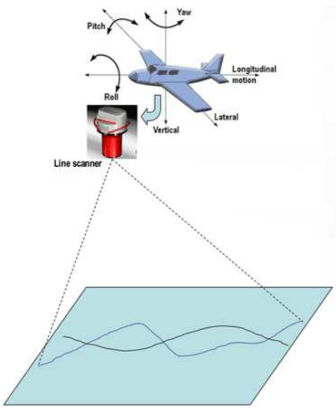



Imagem bruta

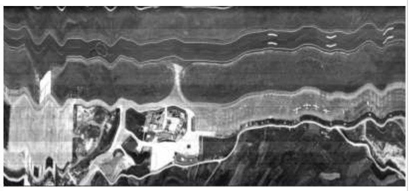
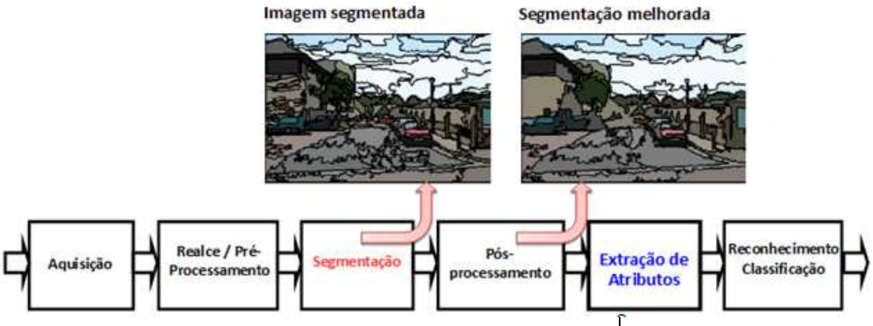


Imagem com correção geométrica

Resultado



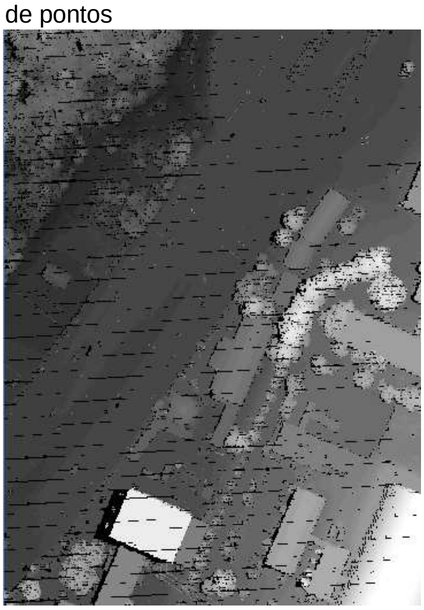

- características externas: tamanho, forma...

- características internas : cor, texturas,...

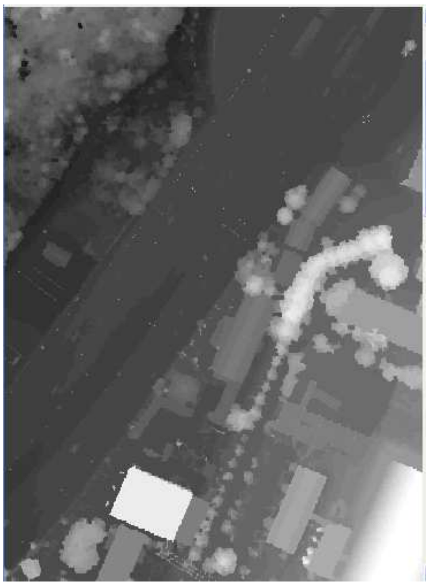
Programa:

- Morfologia matemática
- Representação e descrição de regiões
- Reconhecimento de padrões

Modelo Digital de Superfície gerado a partir das coordenadas X,Y,Z da nuvem de pontos



Modelo Digital de Superfície após aplicação de fechamento sequencial



## Reconstrução morfológica

Envolve duas imagens e um elemento estruturante:

- Uma imagem, o **marcador**, contém os pontos de partida para a transformação.
- A outra imagem, a máscara, restringe a transformação.
- O elemento estruturante é usado para definir a conectividade.

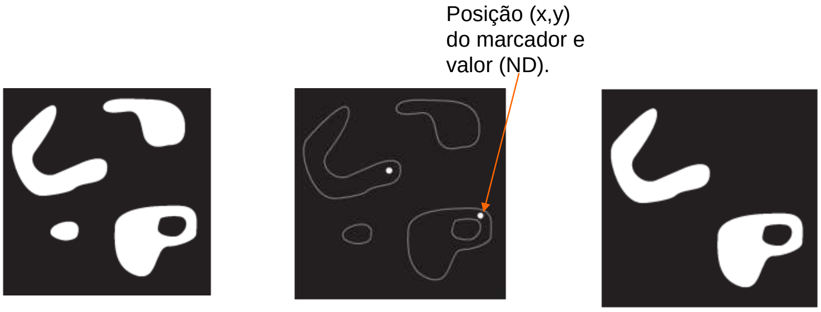



Imagem (máscara)

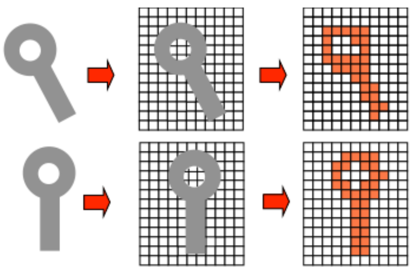
marcador

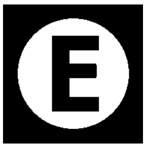
Resultado da reconstrução morfológica

## Descritores de forma

-Conjunto de valores numéricos que descrevem uma forma.

- Exemplos: centro de gravidade/ centróide, eixos de inércia, excentricidade, razão de circularidade, retangularidade, etc.






Este objeto está presente na imagem?


Programa:

Morfologia Matemática Binária

- Erosão; Dilatação; Abertura;Fechamento
- Acerto e Erro (hit or miss)
- Esqueletização
- Afinamento

Morfologia Matemática em nivel de cinza

- Erosão; Dilatação; Abertura; Fechamento
- Gradiente
- Cartola (top-hat e bottom-hat)
- Operadores sequenciais:
  concatenação de aberturas e fechamentos,
  operadores alternados
- Reconstrução morfológica

Representação e descrição

- Descritores de forma
- Momentos
- Descritores invariantes à rotação, translação e escala

Introdução ao reconhecimento de padrões

- Métodos supervisionados e não supervisionados
- Métodos paramétricos e não paramétricos

- **BIBLIOGRAFIA BÁSICA:**

-GONZALEZ, R.; WOODS, R. Processamento de imagens digitais.

- PEDRINI, H.; SCHWARTZ, W. R. Análise de imagens digitais.

# Morfologia Matemática

Morfologia é o tratado das formas que a matéria pode tomar
Origem: do grego “morphe” (forma) e “logos” (estudo).

- Morfologia vegetal é a parte da Botânica que estuda as formas e estruturas dos organismos vegetais.

- Em Biologia, morfologia é o estudo da forma do organismo ou de partes dele.

  -> A forma de uma folha pode ser usada para identificar uma planta ou a forma de uma colônia de bactérias pode ser usada para identificar sua variedade.

- Morfologia social é a parte da Sociologia que estuda e classifica as estruturas ou as formas de vida social.

- Em linguística, Morfologia é o estudo da estrutura, da formação e da classificação das palavras.

## Elementos históricos

Georges Matheron ($*$ 1930, † 2000)

Jean Serra ($*$ 1940)

**Matheron** criou em 1968 o *Centre de Géostatistique et de Morphologie Mathématique* na Escola de Minas de Paris em Fontainebleau. Deixou contribuições em Krigagem e Morfologia Matemática.

Durante o desenvolvimento do trabalho de doutorado, sob orientação de Matheron, **Serra** desenvolveu a idéia de *elementos estruturantes.* Seu trabalho conduziu ao conceito da transformação *hit-or-miss,* que evoluiu para os conceitos de erosão, dilatação, abertura e fechamento.

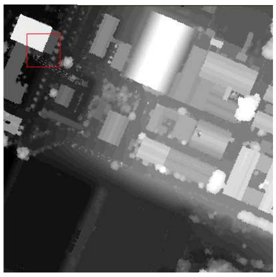
Em 1966, Matheron, Philippe Formery, e Serra decidiram denominar “**morfologia matemática**” ao campo de estudos.

Em função da imagem, tem-se:

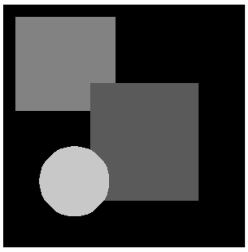
- morfologia binária

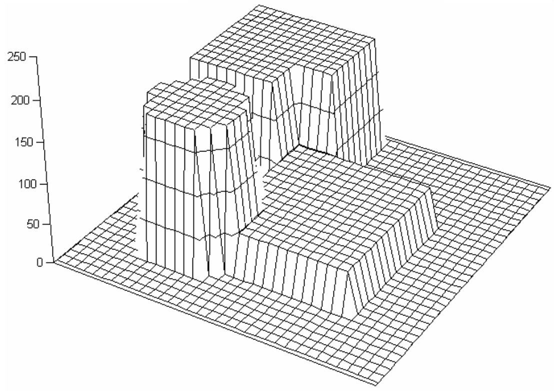
- morfologia cinza

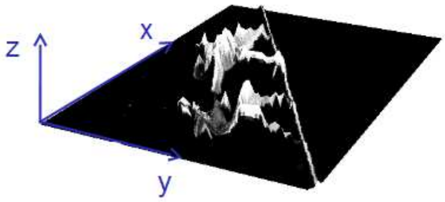
- morfologia colorida

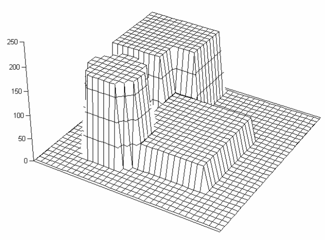
# Imagem como função bidimensional/tridimensional

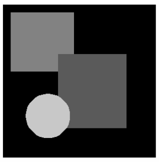




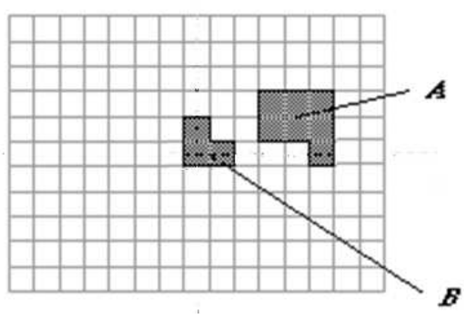
## Imagem monocromática como função bidimensional/tridimensional





- Uma imagem consiste de conjuntos;
- um conjunto corresponde a pontos (pixels) que pertencem a objetos na imagem.

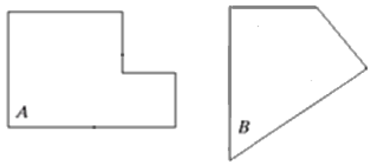
- A figura mostra dois objetos ou conjuntos A e B:




**A = { *x* | *Propriedade (x)* == *VERDADEIRA* }**

## Operações sobre conjuntos : Intersecção, União, Complemento e Diferença.

- Sejam dois conjuntos A e B:

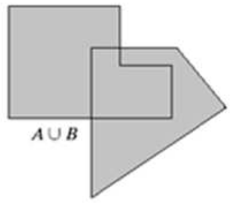



### UNIÃO

- A união de dois conjuntos A e B é o conjunto de elementos que pertencem a A ou a B: $A \cup B = \{ x \mid (x \in A) \text{ ou } (x \in B)\}$

  Exemplo:

  $A = \{ 1, 3 , 5\}$ e $B = \{4 , 5 , 6\}$, então $A \cup B = \{1, 3 , 4 , 5 , 6\}$

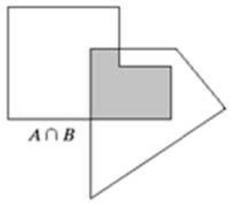



### INTERSEÇÃO

- A interseção de dois conjuntos A e B é o conjunto de elementos pertencentes a ambos : $A \cap B = \{ x \mid (c \in A) \text{ e } (x \in B)\}$

  Exemplo:

  $A = \{ 1, 3 , 5\}$ e $B = \{4 , 5 , 6\}$ então $A \cap B = \{5\}$




## Operações sobre conjuntos : Intersecção, União, Complemento e Diferença.

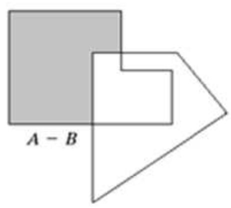

### DIFERENÇA

- A diferença entre os conjuntos A e B é o conjunto de elementos que pertencem a A mas não pertencem a B:

  $A – B = \{ x \mid (x \in A) \text{ e } (x \notin B)\}$

  Exemplo:

  $A = \{ 1, 3 , 5\}$ e $B = \{4 , 5 , 6\}$, então $A - B = \{1 , 3\}$ .



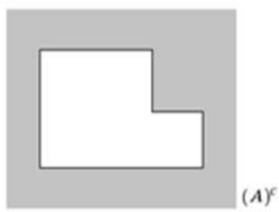

### COMPLEMENTO

- O complemento do conjunto A é o conjunto dos elementos não pertencentes ao conjunto A: $A^c = \{x \mid x \notin A\}$

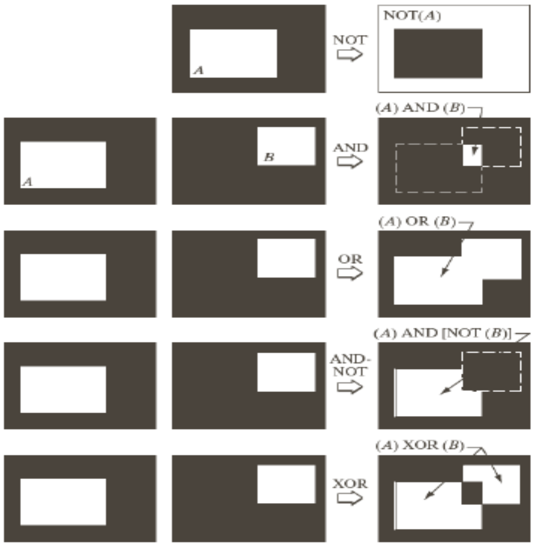
  Exemplo:

  Seja o conjunto $I = \{ 1 , 2 , 3 , 4 , 5\}$ e $A = \{1 , 3 , 5\}$,

  então $A^c = \{2 , 4\}$ é o complemento de A em relação a I.



Operações lógicas:  NOT, AND, OR, AND-NOT, XOR




complemento

intersecção

união

diferença

?

Operadores lógicos Matlab/Freemat:

| Logical Operator | Meaning |
|---|---|
| & | And |
| \| | Or |
| ~ | Not |

## Exercício.

Dados os conjuntos A e B, calcule o conjunto C resultante da operação:

$$A = \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} \qquad B = \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix}$$

a) $A \cup B$ => C =

b) $A \cap B$ => C =

c) A XOR B => C =

Exercício.

Dados os conjuntos A e B, calcule o conjunto C resultante da operação:

$$A = \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} \qquad B = \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix}$$

a) $A \cup B$ => $C = \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix}$

b) $A \cap B$ => $C = \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix}$

c) A XOR B => $C = \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix}$

## Vizinhança de um pixel (i,j):

Vizinhança 4:

| | | |
|---|---|---|
| I(i−1,j−1) | I(i−1,j) | I(i−1,j+1) |
| I(i,j−1) | I(i,j) | I(i,j+1) |
| I(i+1,j−1) | I(i+1,j) | I(i+1,j+1) |

Vizinhança 8:

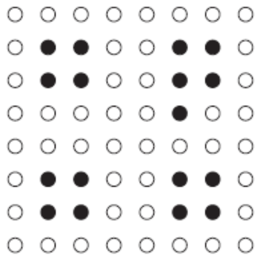
| | | |
|---|---|---|
| I(i−1,j−1) | I(i−1,j) | I(i−1,j+1) |
| I(i,j−1) | I(i,j) | I(i,j+1) |
| I(i+1,j−1) | I(i+1,j) | I(i+1,j+1) |

## Conectividade

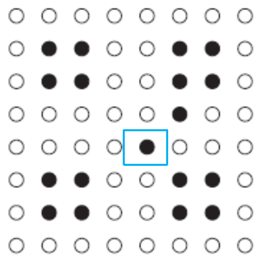
Para se estabelecer se dois pixels estão conectados é necessário determinar se eles são adjacentes e se seus níveis de cinza satisfazem a um determinado critério de similaridade.

○ = 0
● = 1

Quantas regiões existem ?

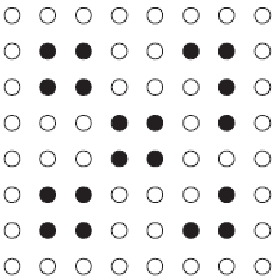


Adicionando um pixel com valor 1:



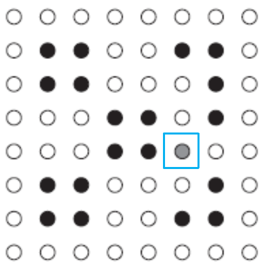
Conectividade 4:
Conectividade 8:

Quantas regiões existem ?



Conectividade 4:
Conectividade 8:

Adicionando um pixel com valor 1:



Conectividade 4:
Conectividade 8:

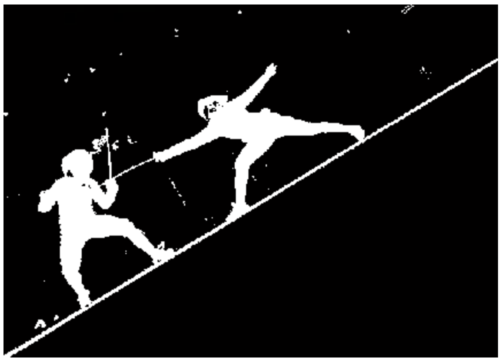
A idéia básica da **morfologia matemática:**

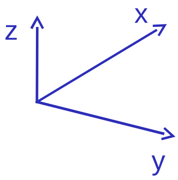
uma imagem consiste de um conjunto de "picture elements" (pixels) que são reunidos em grupos (conjuntos) que apresentam estrutura bidimensional (forma).

- operações matemáticas podem ser aplicadas aos conjuntos de pixels para ressaltar aspectos específicos das **formas** permitindo que eles sejam contados ou reconhecidos.

- A morfologia matemática busca extrair informações relativas à geometria e à topologia de um conjunto desconhecido (no caso, **uma imagem**) pela transformação através de outro conjunto bem definido, chamado ***elemento estruturante.***

# Morfologia Matemática Binária





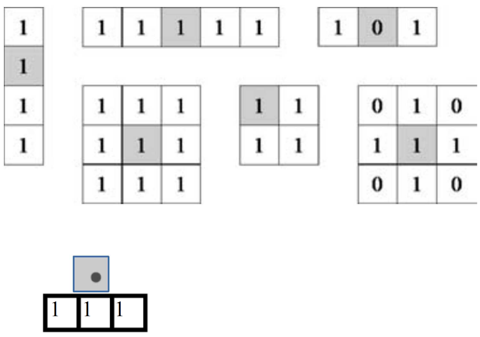

- Uma imagem binária é definida como um conjunto das coordenadas de pontos brancos - ou pretos - (x,y) pertencentes ao plano $Z^2$.
- Ex. A= {(1,1),(3,3),(7,3)}.

## Elemento estruturante

- é o conjunto com o qual as transformações serão executadas.
- Função: revelar as propriedades morfológicas ocultas do conjunto a ser transformado.

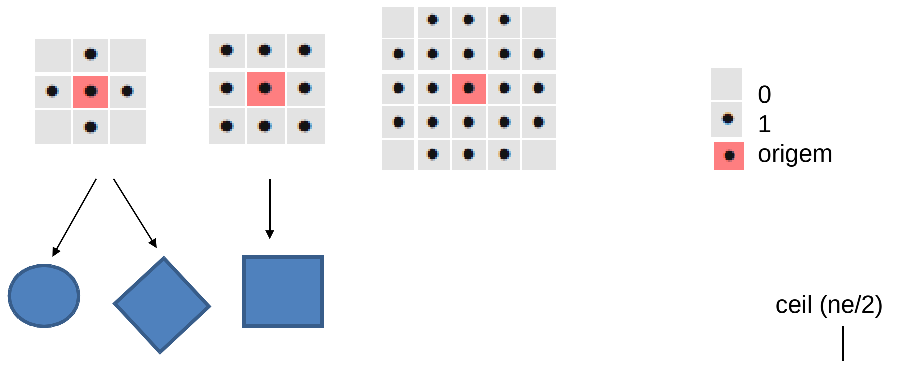
## Características do elemento estruturante

- forma,
- tamanho,
- orientação,
- origem.

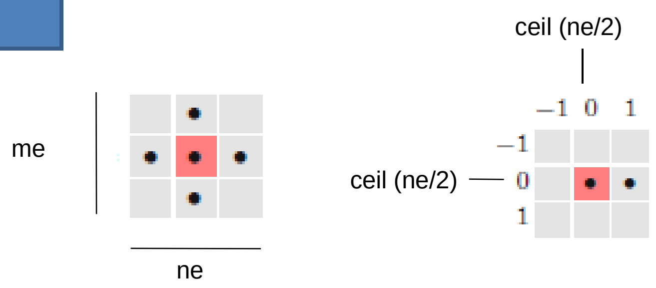


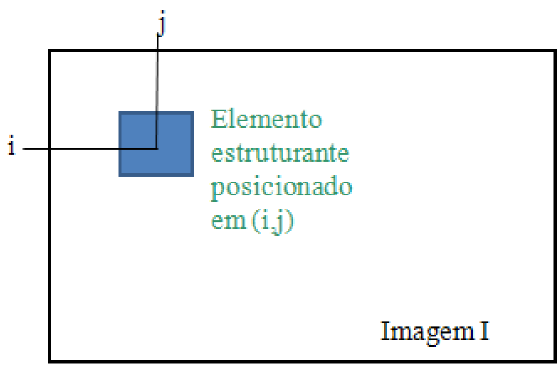

Indica a posição da origem

Forma do elemento estruturante quadrado e posição do seu centro :




me: número de linhas;
ne : número de colunas.




[m,n] = size(I);

[me,ne] = size(EE)

```
% para EE quadrado
d1 = ceil(me/2);
d2 = floor(ne/2);

for  i = d1:m-d2
for  j = d1:n-d2
     for k = -d2:d2
     for l = -d2:d2
     % calculo de valor S(i,j)
     ...
```

## Notação para os operadores morfológicos:

- A erosão e a dilatação são operadores considerados elementares, pois a maior parte dos operadores morfológicos utilizados podem ser implementados a partir dos mesmos.

Segundo FACON, existem diferentes “escolas” : francesa, americana, brasileira...

A notação dos operadores varia conforme a “escola”

| | Notação 1 | Notação 2 |
|---|---|---|
| Erosão | $\varepsilon$ | $\ominus$ |
| Dilatação | $\delta$ | $\oplus$ |

**“Erosão de X pelo elemento estruturante B” :**

X ero B

$\varepsilon^B(\check{X})$ Ex: BANON (1998), FACON (2011),

$X \ominus B$ Ex: GONZALEZ (2009)

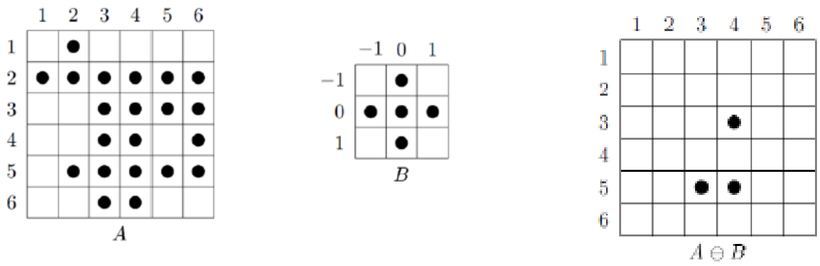
## Erosão binária

Sendo A (imagem) e B (elemento estruturante) conjuntos de $Z^2$ , a erosão é definida como

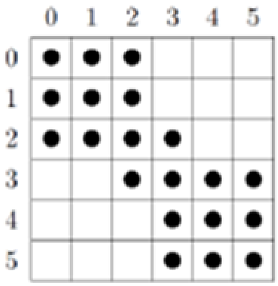
$$A \ominus B = \{z | (B)_z \subseteq A\}$$

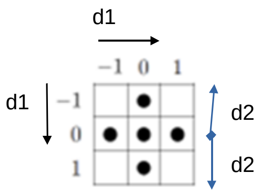
Erosão da imagem A pelo elemento estruturante B

Elementos z de B contidos em A




Efeitos da erosão binária:
- Diminuir conjuntos, desconectá-los e eventualmente eliminá-los caso o tamanho do elemento estruturante for maior;
- Aumentar e abrir cavidades.

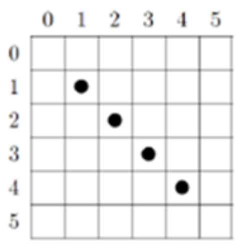



```
I = [
0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 1 1 1 0 0 0 0 0
0 1 1 1 0 0 0 0 0
0 1 1 1 1 0 0 0 0
0 0 0 1 1 1 1 0 0
0 0 0 0 1 1 1 0 0
0 0 0 0 1 1 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 ]

EE =[
0 1 0
1 1 1
0 1 0 ]
```

```
[m,n] = size(I);

[me,ne] = size(EE)


% para EE quadrado: me = ne
d1 = ceil(me/2);
d2 = floor(ne/2);
```

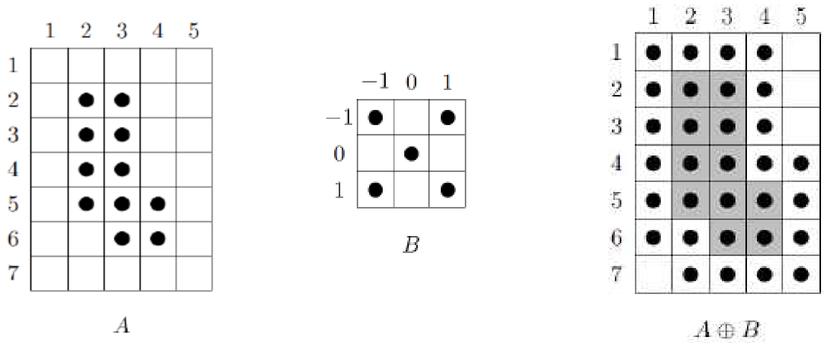
```
S1 = zeros(m,n);

for  i = d1:m-d2
for  j = d1:n-d2
     ind = 0;
     for k = -d2:d2
     for l = -d2:d2
          if EE(d1+k,d1+l) == 1 & I(i+k,j+l) == 1
               ind = ind+1;
          end
     end
     end
     if ind == 5
          S1(i,j) = I(i,j);
     end
end
end
```




$A \ominus B$

# Dilatação binária

- A dilatação do conjunto A pelo conjunto B é expresso por:
  A ⊕ B = {Z | (B)z ∩ A ≠ ∅}.




Efeitos da dilatação binária:
• Aumentar conjuntos e eventualmente conectá-los caso o tamanho do elemento estruturante for maior que o espaço entre eles;
-Diminuir e preencher cavidades.

```
I = [
...
 ]

EE =[
1  0  1
0  1  0
1  0  1 ]

[m,n] = size(I);
[me,ne] = size(EE);

d1 = ceil(me/2);
d2 = floor(ne/2);
```

```
S = zeros(m,n);

for  i = d1:m-d2
for  j = d1:n-d2
        if I(i,j) == 1
                for k = -d2:d2
                for l = -d2:d2
                        if EE(d1+k,d1+l)== 1
                                S(i+k,j+l) = 1;
                        end
                end
                end
        end
end
end
```

# Abertura

- Abertura de A pelo elemento estruturante B: $A \circ B = (A \ominus B) \oplus B.$

Propriedades:

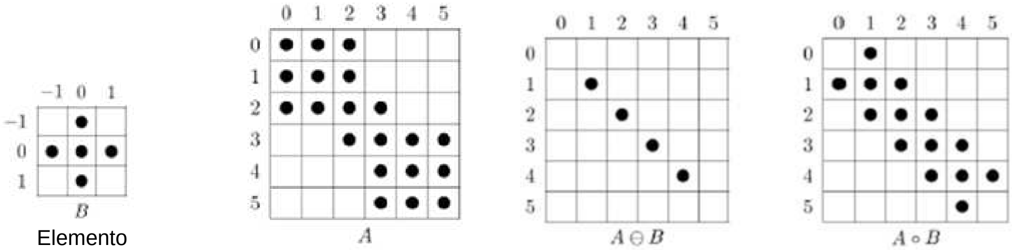
- $(A \circ B) \subseteq A.$

• Pode separar conjuntos conectados. Para isto, é preciso usar elementos estruturantes de tamanho maior que a conexão:

• Pode eliminar conjuntos. Para isto, faz-se necessário usar elementos estruturantes de tamanho maior que os conjuntos:

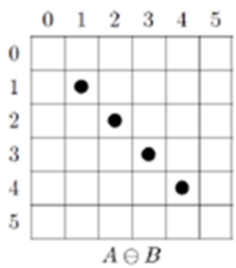
• Nivela os contornos pelo interior;

• Gera imagens menos ricas em detalhes que as imagens originais; os conjuntos ficarão mais regulares do que os cojuntos originais.

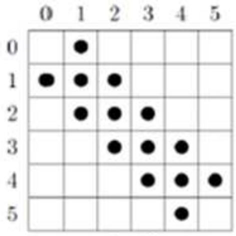



Elemento estruturante | imagem | Resultado da erosão | Resultado da dilatação

```
S1 = zeros(m,n);

for  i = d1:m-d2
for  j = d1:n-d2
     ind = 0;
     for k = -d2:d2
     for l = -d2:d2
            if EE(d1+k,d1+l) == 1 & I(i+k,j+l) == 1
                   ind = ind+1;
            end
     end
     end
     if ind == 5
            S1(i,j) = I(i,j);
     end
end
end
```



```
S2 = zeros(m,n);

for  i = d1:m-d2
for  j = d1:n-d2
      if S1(i,j) == 1
            for k = -d2:d2
            for l = -d2:d2
                  if EE(d1+k,d1+l)== 1
                        S2(i+k,j+l) = 1;
                  end
            end
            end
      end
end
end
```



$A \circ B$

# Fechamento

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B.$$

Propriedades:

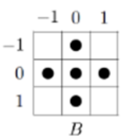
- $A \subseteq (A \bullet B).$

-Pode conectar conjuntos separadas. Para isto, é preciso usar elementos estruturantes de tamanho maior que o intervalo que os separa;

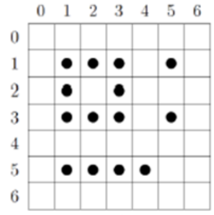
• Pode preencher buracos e cavidades. Para isto, faz-se necessário usar elementos estruturantes de tamanho maior que os buracos e cavidades;

• Nivela os contornos pelo exterior;

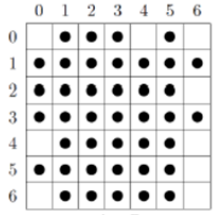
• Gera imagens menos ricas em detalhes que as imagens originais; os conjuntos fechados terão contorno mais regular do que os contornos originais.



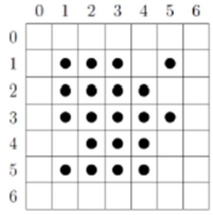
$B$



$A$



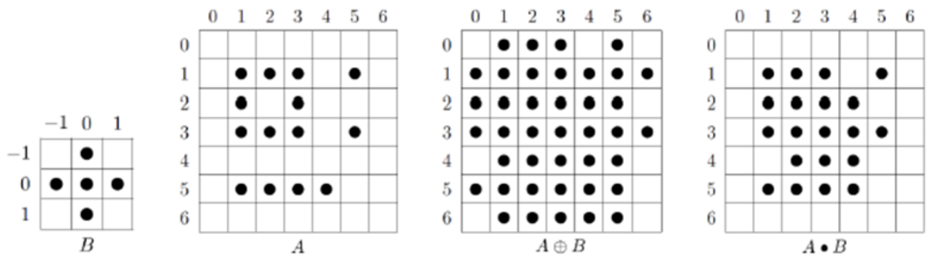
$A \oplus B$



$A \bullet B$

# Fechamento

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B.$$




<u>Exercício</u>: implementar o fechamento da imagem A pelo elemento estruturante B.


<u>Exercício</u>:
Retirar as linhas horizontais.

Imagem 'partitura.tif'